

模具壁厚对铸件凝固状态的影响

叶 珍, 张川吉, 朱大智

(保定市立中车轮制造有限公司, 河北保定 071000)

摘要: 通过建立简单的模具壁厚与铸件的数学模型, 数学模型为金属型模具的A356铝合金铸造, 运用模拟分析软件对多种模具壁厚状态下的铸件凝固状态进行分析。结果表明: 铸件从初始温度700 °C到达液相线温度613 °C的时间非常短, 且是个定值, 与模具壁厚无关; 铸件从液相线温度613 °C到达固相温度557 °C的时间随模具壁厚的增加而减少, 且逐渐趋近于某一定值, 这一定值与铸件厚度和模具初始温度有关; 金属型模具存在一个经济壁厚, 超出这一壁厚时铸件凝固状态将不会再发生变化。

关键词: 模具壁厚; 凝固状态; 金属型; 铸造模拟

中图分类号: TG146.2+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2017) 09-1008-03

Influence of Mold Wall Thickness on Solidification State of Casting

YE Zhen, ZHANG Chuan-ji, ZHU Da-zhi

(Baoding Lizhong Wheel Manufacturing Co., Ltd., Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: The mathematical model of the mold thickness and casting is established, which is for the A356 aluminum casting by permanent mold, the solidification state of casting is analyzed in multiple of mold thicknesses by simulation software. The results show that the time of the casting from the initial temperature of 700 °C to the liquidus temperature of 613 °C is very short, and it's a definite value, and it does not relate to the wall thickness; the time of the casting is decreased from the liquidus temperature of 613 °C to the solidus temperature of 557 °C with the increase of mold thickness, and it's getting closer and closer to a definite value, and it relate to the wall thickness and the initial temperature of the mold; there is an economical wall thickness in the permanent mold, when the wall thickness is exceeded, the solidification state will not change again.

Key words: mold thickness; solidification state; permanent mold; casting simulation

金属型模具壁厚与铸件厚度是存在一定比例关系, 这种比例关系影响着铸件的品质及生产效率^[1]。模具的壁厚大到一定程度, 再增加壁厚对铸造的凝固基本无影响。由于液态金属从初始状态到全部凝固所散失的热量是一个定值, 根据热量守恒理论, 模具吸收的热量也是一个定值, 这部分热量对模具壁厚的影响是有限的, 将这个有限的模具壁厚称之为经济壁厚, 超出这一经济壁厚的部分就是浪费的。铸件形状是千变万化、铸件厚度各不相同, 所以确定经济壁厚非常困难。

金属凝固过程数值模拟是计算机在铸造生产中应用的核心内容, 涉及铸造理论、凝固理论、传热学、数值分析等^[2]。轮毂模具作为典型的金属型模具, 模具壁厚对其铸件的凝固状态影响非常明显。我们将以模具材料为40CrMo、铸件材料为AlSi7Mg铝合金为例进行模具壁厚的理论研究。

1 运用模拟理论分析

1.1 铝液凝固状态区域划分

轮毂铸造采用A356铝合金, 充型温度为700 °C,

液相线温度为613 °C, 固相线温度为557 °C, 其凝固状态可以用图1示意。图1中, Δt_1 为从初始温度到液相温度(过热温度)所用时间, Δt_2 为从液相温度到固相温度所用时间, 即结晶时间。从研究 Δt_1 、 Δt_2 入手来了解模具壁厚对铝合金铸件凝固过程的影响。

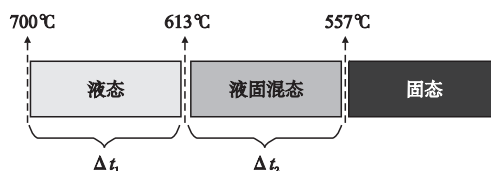


图1 铝液凝固状态区域图

Fig. 1 Area of the solidification state of aluminum melts

1.2 模拟模型及条件设置

图2是建立的模拟模型, 中间是铸件、上下两边是模具、四周是绝热材料。将模拟模型导入MAGMA模拟软件中, 利用模拟软件求得 Δt_1 、 Δt_2 。在模拟设置中, 铸件材料为AlSi7Mg合金, 模具材料为40CrMo; 铸件与模具的传热系数设置为800 W/(m²·K), 模具与周围空气的传热系数设置为40 W/(m²·K)^[3]。

收稿日期: 2017-02-26收到初稿, 2017-06-04收到修订稿。

作者简介: 叶珍 (1974-), 男, 工程师, 主要从事汽车铝合金车轮的研发和制造。电话: 0312-5997671, E-mail: yezhen@lzwheel.com



图2 模拟模型

Fig. 2 Model of simulation

1.3 模拟结果分析

设定铸件厚度是10 mm，模具温度分别设置400 °C、450 °C、500 °C三种方案，其中模具壁厚依次调整，具体模拟方案见表1。

表1 模拟方案

Table 1 Simulated project

模拟方案	铸件厚度/mm	模具温度/°C	模具壁厚/mm
模型一	10	400	2~30 (2 mm)
模型二	10	450	2~30 (2 mm)
模型三	10	500	2~30 (2 mm)

模拟结果可以得到铸件到达液相线温度的时间点、固相线温度的时间点，从而可以计算出 Δt_1 、 Δt_2 值，通过研究 Δt_1 、 Δt_2 的数值来分析铸件的凝固状态。

图3是三种模具温度状态 Δt_1 随模具壁厚变化的曲线图，横坐标是模具厚度，从2 mm到30 mm中间间隔2 mm，纵坐标是铸件由初始温度到达液相温度所用时间。从图3可以发现， Δt_1 值的大小与模具温度有一定正比关系，模具温度400 °C时， Δt_1 值是3.2 s；模具温度450 °C时， Δt_1 值是4 s；模具温度500 °C时， Δt_1 值是5.2 s； Δt_1 值的大小不随模具壁厚变化而改变。通过分析可以看出，铸件从初始温度到达液相温度所用时间非常短，也就是说铸件充型后很快就会进入结晶状态，这段时间相对于整个铸造周期来说是非常微小的。

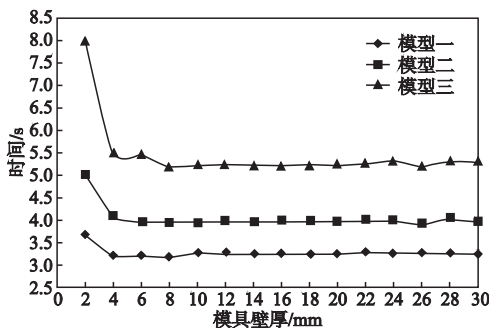


图3 初始温度到液相线温度时间 (Δt_1) 曲线图

Fig. 3 Graph of the time from the initial temperature to the liquidus temperature (Δt_1)

图4是三种模具温度状态 Δt_2 随模具壁厚变化的曲线图，横坐标是模具壁厚，从2 mm到30 mm中间间隔2 mm，纵坐标是铸件由液相温度到达固相线温度所用时间。由图4可以发现，模型一曲线随模具壁厚增加骤然下降，当模具壁厚达到18 mm时， Δt_2 值基本不再变化，约为55 s；模型二曲线随模具壁厚增加下降较快，

当模具壁厚达到24 mm时， Δt_2 值基本不再变化，约为85 s；模型三曲线随模具壁厚增加下降缓慢，当模具壁厚达到30 mm时， Δt_2 值基本不再变化，约为175 s。通过分析可以看出，铸件的结晶时间受模具温度影响很大，模具温度从400 °C增加到450 °C结晶时间增加了30 s，而模具温度从450 °C增加到500 °C结晶时间增加了一倍多。

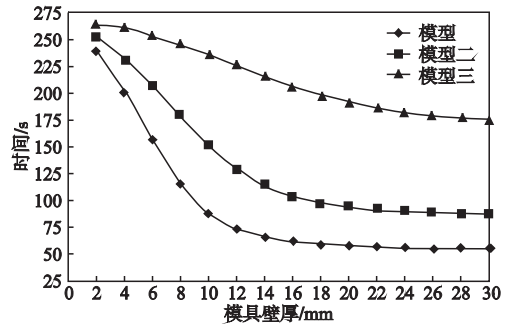


图4 液相线温度到固相线温度时间 (Δt_2) 曲线图

Fig. 4 Graph of the time from the liquidus temperature to the solidus temperature (Δt_2)

为了验证上述规律的通用性，将铸件厚度分别调整到20 mm、30 mm，按以上模拟方案进行模拟分析，得到了类似的 Δt_1 、 Δt_2 曲线图，规律一致， Δt_1 、 Δt_2 数值规律见表2、表3。

表2 Δt_1 值统计结果

Table 2 The statistic data of Δt_1

铸件厚度/mm	Δt_1 /s		
	模温400 °C	模温450 °C	模温500 °C
10	3.2	4.0	5.2
20	7.4	9.1	12
30	18	22	29

表3 Δt_2 值统计结果

Table 2 The statistic data of Δt_2

铸件厚度/mm	模温400 °C		模温450 °C		模温500 °C	
	模具厚度H/mm	Δt_2 /s	模具厚度H/mm	Δt_2 /s	模具厚度H/mm	Δt_2 /s
10	<18	↓	<22	↓	<28	↓
	>18	56	>22	88	>28	175
20	<35	↓	<40	↓	<50	↓
	>35	162	>40	260	>50	510
30	<50	↓	<55	↓	<60	↓
	>50	260	>55	420	>60	850

2 金属型模具合理壁厚的选择

铸件的凝固过程可以分为两个阶段：一是从初始温度到液相线温度阶段；二是结晶阶段。通过理论模拟分析可以发现，前一个阶段用时非常短，相对于整个凝固周期来说，这个阶段的时间差异基本上可以忽略，结晶阶段才是决定凝固过程的关键阶段。

通过理论模拟分析知道，模具壁厚存在一个经济

壁厚，当达到经济壁厚时，铸件的凝固状态基本稳定下来，再增加模具壁厚并不影响铸件的凝固状态，通过表3我们可以得到一组经济壁厚的数值，这组数值与铸件厚度和模具温度有关，见表4。

表4 经济壁厚

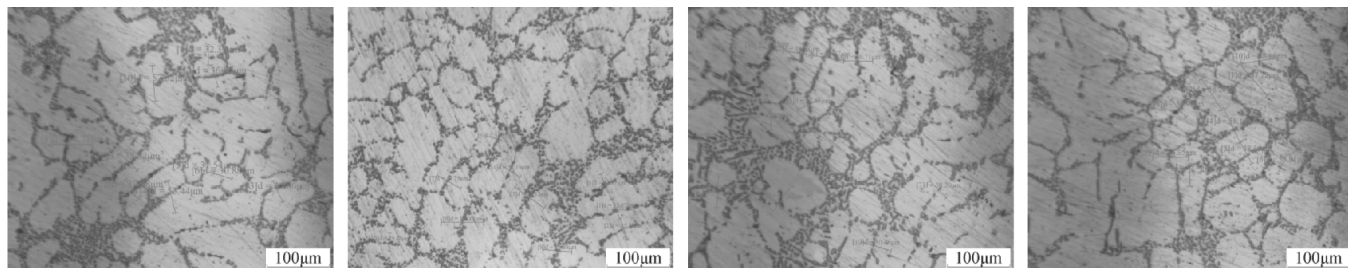
Table 2 Economical wall thickness /mm			
铸件厚度/mm	模温400 ℃	模温450 ℃	模温500 ℃
10	18	22	28
20	35	40	50
30	50	55	60

3 理论结果实际验证

金属型模具壁厚是影响铸件品质的重要因素，在轮毂模具的设计中模具壁厚的设计尤为关键，为此在模具壁厚方面做了比较多的研究，一方面利用模拟分析理论研究，另一方面通过实际验证摸索数据。

为了验证理论研究的可靠性，专门开发模具进行验证，轮毂铸件轮辋位置的厚度一般在10 mm左右，首先将轮辋两侧的模具壁厚设计为30 mm，实际铸造毛坯20个，抽检毛坯轮辋位置的二次枝晶间距(SDAS)，然后依次将轮辋两侧的模具壁厚依次修成25 mm、20 mm、15 mm，分别实际铸造毛坯20个，抽检毛坯轮辋位置的二次枝晶间距。

二次枝晶间距能间接反映铸件结晶时间，二次枝晶间距数值越小结晶用时越少，反之越大。图5是四种模具壁厚状态下观察到的二次枝晶间距，模具壁厚是30 mm、25 mm时，SDAS是42 μm，模具壁厚是20 mm时，SDAS是47 μm，模具壁厚是15 mm时，SDAS是50 μm。说明模具壁厚在20~25 mm之间存在一个经济壁厚，当超过这一经济壁厚时，铸件的结晶时间不在发生变化，铸件的SDAS也不再改变。这一结论与表4中的经济壁厚数值基本吻合。



模具壁厚30 mm (SDAS为42 μm) 壁厚25 mm (SDAS为42 μm) 壁厚20 mm (SDAS为47 μm) 壁厚15 mm (SDAS为50 μm)

图5 轮毂铸件轮辋位置的二次枝晶间距

Fig. 5 SDAS of rim of wheel casting

4 结论

(1) 通过理论模拟分析模具壁厚与铸件凝固状态的关系，铸件从初始温度到达液相线温度用时非常少，而且这段时间与模具壁厚无关，铸件结晶阶段用时与模具壁厚存在一定比例关系。

(2) 金属型模具壁厚存在一个经济壁厚，当模具壁厚超过这一经济壁厚时，铸件凝固状态将不再变化，通过实际检测SDAS验证了结论的可靠性。模具的经济壁厚与铸件厚度存在正比关系，也与模具温度存在一

定正比关系。

参考文献：

- [1] 张光明, 傅骏, 彭显平. CAE技术在支撑体金属型铸造模具设计中的应用 [J]. 特种铸造及有色合金, 2007, 27 (11): 836-837.
- [2] 张涯飞. 铝合金轮毂低压铸造凝固过程温度场数值模拟及模具工艺优化 [D]. 江苏大学, 2009.
- [3] Hines Joy A. Determination of interfacial heat-transfer boundary conditions in an aluminum low-pressure permanent mold test casting [J]. Metall. Mater. Trans. B, 2004, 35 (2): 299-311.

(编辑：曲学良, qxl@foundryworld.com)